

Vysoká Škola Báňská Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Řízení polohy přímočarého
hydromotoru na hydraulickém
praktikátoru Parker pro proporcionální
techniku**

**Diagnostic Position Control of the
Linear Hydraulic Motor Using the
Hydraulic Practicator Parker for
Proportional Technology**

Student:

Tomáš Olbert

Vedoucí bakalářské práce:

doc.Dr. Ing. Lumír Hružík

21.5.2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Olbert**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení**
Téma: **Řízení polohy přímočarého hydromotoru na hydraulickém praktikátoru Parker pro proporcionální techniku**
Diagnostics Position Control of the Linear Hydraulic Motor Using the Hydraulic Practicator Parker for Proportional Technology

Zásady pro vypracování:

1. Popište hydraulický praktikátor firmy Parker pro proporcionální techniku, uveďte jednotlivé ventily a řídicí karty, které jsou k dispozici.
2. Uveďte úlohy, které praktikátor umožňuje procvičovat.
3. Realizujte úlohu řízení polohy hydraulického válce bez zpětné vazby a se zpětnou vazbou.
4. Zpracujte stručný návod pro úlohu řízení polohy hydraulického válce.

Seznam doporučené odborné literatury:

WILL, D.; GEBHARDT, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2008, 4. vyd., 450 s. ISBN 978-3-540-79534-6.

PARKER HANNIFIN CORPORATION. *Proporcionální technika - manuál ke školicímu standu Parker*. Bulletin 01-CZ. 2010.

HRUŽÍK, L. RAUTOVÁ, J., BLEJCHAŘ, T. *Závěrečná zpráva o řešení projektu, č. projektu 1888/2010. Vybudování laboratoře čerpací techniky a rozvoj Laboratoře hydraulických zařízení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011. 27 s.

Dörr, H., EWALD, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 2, Proportional - und Servoventil - Technik*. Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Lumír Hružík**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Adam Bureček

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou dobu bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literatury.

V Ostravě, 21.5.2012



Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě
- uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012


.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce doc. Dr.Ing. Lumíru Hružíkovi a svému konzultantovi Ing. Adamu Burečkovi, za odborné vedení a cenné rady při měření a vypracování bakalářské práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

OLBERT, T. *Řízení polohy přímočarého hydromotoru na praktikátoru Parker pro proporcionální techniku. : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 50s. Vedoucí práce: Hružík, L.

V mé bakalářské práci jsem se zabýval praktikátorem firmy Parker a proporcionální technikou. V první části jsem se zabýval proporcionální technikou. Popsal jsem principy řízení a aplikace proporcionální techniky. V další části jsem se věnoval praktikátoru firmy Parker. Popsal jsem jeho součásti a komponenty. Dále jsem popsal možné úlohy, které je možné na praktikátoru realizovat. Tento popis úloh vychází z použitých karet. V poslední části jsem realizoval úlohu řízení polohy přímočarého hydromotoru. Tato úloha byla provedena pomocí PID regulace v uzavřené regulační smyčce. Také jsem vypracoval návod pro realizaci této úlohy.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

OLBERT, T. *Diadnostics Position Control of the Linear Hydraulic Motor Using the Hydraulic Practicator Parker for Proportional Technology. : Master Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2012, 50p. Thesis head: Hružík, L

In my thesis I deal with practicator Parker and propotional technology. In fisrt section I deal with proportional technology. I describe principles of control and applications proportional technology. In next section I deal with practicator Parker. I describe his parts and komponents. I also describe possibility tasks, which can be realized on practicator. This describe of tasks is based on using modules. In last section I realized task control of positions linear hydraulic motor. This task was performed using PID regulation in closed loop. I also developed instruction for the implementation of this task.

1 Úvod	11
1.1 Řízení.....	11
2 Proporcionální technika.....	12
2.1 Proporcionální prvky	13
2.1.1 Proporcionální rozváděče	14
2.1.2 Proporcionální tlakové řídicí ventily	16
2.1.1 Proporcionální průtokové ventily	18
2.1.2 Škrticí ventily	18
2.2 Aplikace proporcionálních ventilů	19
2.3 Řídicí elektronika PV	19
2.4 Snímače veličin	20
2.5 Snímače polohy	21
3 Hydraulický praktikátor firmy Parker	22
3.1 Popis standu, seznam jeho součástí	23
3.2 Komponenty na hlavním panelu standu	29
3.3 Seznam elektronických modulů	32
4 Úlohy, které praktikátor umožňuje procvičovat	35
5 Řízení polohy přímočarého hydromotoru, návod do měření	39
6 Závěr	50
7 Přílohy	52
8 Seznam použité literatury	53

Seznam použitých zkratek

a	Zrychlení	m.s^{-2}
A	Pracovní větev	
B	Pracovní větev	
D	Derivační parametr PID regulace	
Δp	Tlaková ztráta	Pa, bar
ε	Úhlové zrychlení	rad.s^{-2}
F	Síla	N
I	Integrační parametr PID regulace	
I	Proud	A
φ	Úhel natočení	
M	Moment	N.m
NBR	Typ pryže(těsnění)	
P	Zdroj tlaku, Proporcionální parametr PID regulace	
PC	Počítač	
PID	Typ regulátoru	
PV	Proporcionální ventil	
Q	Průtok	$\text{dm}^3.\text{s}^{-1}$
T	Odpadní větev	
U	Napětí	V
V	Rychlost	m.s^{-1}
ω	Úhlová rychlost	rad.s^{-1}

1 Úvod

Dlouhá léta využití hydrauliky ustalo pouze na jednoduchých hydraulických lisech. To bylo po dlouhou dobu takřka jediné využití hydraulických systémů. Ovšem potřeby průmyslu se zvyšovaly a začaly se vyvíjet systémy, které dosahovaly velkých momentů sil tlaků atd. Zejména v období druhé světové války, se začaly objevovat první hydraulické systémy se servotechnikou. Asi nejvýznamnější využití, servotechnika měla u ponorek. Kde bylo potřeba velkých výkonů, ovšem s dostatečnou přesností a citlivostí řízení. Ovšem cena servotechniky byla vysoká, proto se začínala vyvíjet proporcionální technika. Tato technika spojuje výhody elektroniky s hydraulickými prvky. Není tolik náročná na čistotu kapaliny jako servotechnika, ovšem její přesnost a citlivost řízení je menší než u servotechniky. Ale pro praktická využití v průmyslu ve velkém množství vyhovuje.

Proporcionální technika se tedy vyvinula pro potřeby průmyslu zejména v mobilní hydraulice, také se využívá s tlakovou váhou pro eliminaci změny zatěžujících sil u zvedání a spouštění hmotné zátěže.

1.1 Řízení

Použitá literatura [1]; [8]; [7]

Pojmem řízení hydraulického pohonu, se rozumí ovládání těchto výstupních parametrů u hydromotoru:

1. Síla F (u přímočarého hydromotoru), moment M (u rotačních hydromotorů).
2. Rychlost pohybu v (u přímočarého hydromotoru), otáčky n (u rotačních hydromotorů).
3. Poloha výstupního pístu (u přímočarých hydromotorů), úhel natočení φ (u rotačních a kyvných hydromotorů).
4. Směr pohybu.
5. Zrychlení a (u přímočarých hydromotorů), úhlové zrychlení ε (u rotačních a kyvných hydromotorů).
6. Výkon aj.

Řídící prvky obecně rozdělujeme do 3 skupin:

1. Klasická řídicí technika.
2. Proporcionální řídicí technika.
3. Servotechnika.

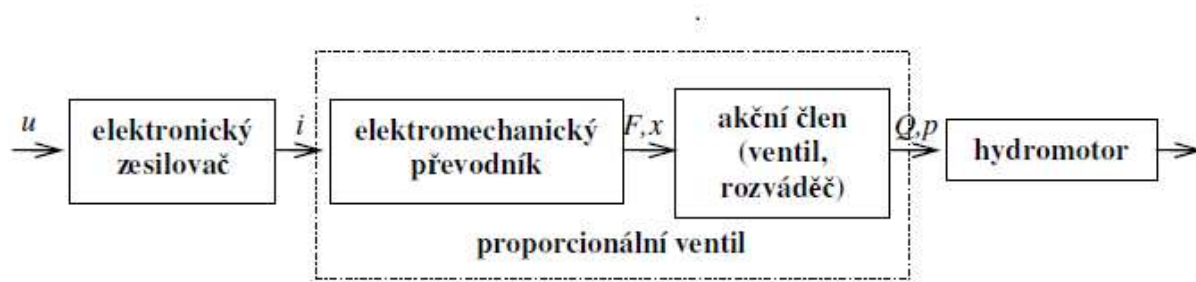
Řízení rychlosti pohybu pístu můžeme provádět těmito způsoby:

1. Řízení tlaku.
2. Řízení průtoku.

2 Proporcionální technika

Použité literatury [1]; [4]

Používá se pro úměrnou (spojitou) regulaci průtoku nebo tlaku v hydraulickém systému. Proporcionální technika se vyznačuje vysokou opakovatelností cyklů, díky tomu se dají hydraulické systémy dobře automatizovat a ovládat. Dále proporcionální techniku charakterizuje jemné, dostatečně přesné ovládání a spínání. Proporcionální ventily také mohou obsahovat snímání rychlosti posuvu a polohy. Tyto snímače, pracují jako porovnávací členy, které zajišťují uzavřenou regulační smyčku. Regulační smyčka zlepšuje přesnost ustavení polohy šoupátka. Proto se magnety bez porovnávacího členu, používají pro malé světlosti ventilů. U těchto ventilů je nepřesnost, způsobená pasivními odpory, malá.



Obr. 2.1 Schéma proporcionálního prvku [1]

Rozdíl mezi konveční a proporcionální technikou je ten, že proporcionální technika využívá elektromechanický převodník. Tento převodník obecně nazýváme proporcionální elektromagnet. Výkonové (akční) členy se od konvečních techniky podstatně neliší, v mnoha případech, jsou jejich připojovací rozměry totožné. Součástí elektromechanického převodníku, mohou být elektronické zesilovače. Častěji však

bývají provedeny jako samostatný díl za pomoci elektronických karet nebo přímého spojení s PC.

Jak už bylo řečeno, proporcionální komponenty jsou takové, které mají proporcionální magnety. Ty na rozdíl od magnetů použitých u konvenční techniky (pokud použity jsou) fungují tak, že podle hodnoty napětí, nebo proudu, se poloha kotvy ustavuje mezi krajními hodnotami resp. polohami šoupátka. Síla proporcionálního magnetu je také určena hodnotou napětí nebo proudu. Z toho vyplývá, že proporcionální magnety jsou polohové (zdvihové), nebo silové (tlačné).

Silové elektromagnety vyvíjí (budí) sílu na kotvu a na připojenou mechanickou část, působí tlakem. Tyto elektromagnety vyvíjí sílu přímo úměrnou proudu jen v určitém rozsahu zdvihu, přibližně na 1,5 mm. Kdežto zdvihové elektromagnety vyvíjí zdvih na kotvu. Tento zdvih kotvy, resp. rozsah polohy šoupátka, bývá obvykle (3 - 5) mm. Proti tomuto zdvihu působí síla, která ovlivňuje přesnost dosažené polohy. Tuto nepřesnost můžeme zmenšit, pomocí polohové zpětné vazby.

Proporcionální elektromagnety pracují v oleji, je velmi důležité, aby pracovní prostor byl dostatečně odvětrán.

Výhody

- jemné a přesné ovládání
- spojité řízení tlaku a průtoku bez dynamických projevů
- snadná automatizace opakovatelnosti cyklů
- snadné programování vstupního signálu
- nízká hlučnost

Nevýhody

- dražší než konvenční technika

2.1 Proporcionální prvky

Použitá literatura [1]; [4]

Proporcionální komponenty mohou být rozděleny do 4 různých tříd:

- 4-cestné přímočaré šoupátkové rozváděče.
- Tlakové řídicí ventily.

- Regulátory průtoku.
- Škrticí ventily.

2.1.1 Proporcionální rozváděče

Použitá literatura [1]; [4]; [6]

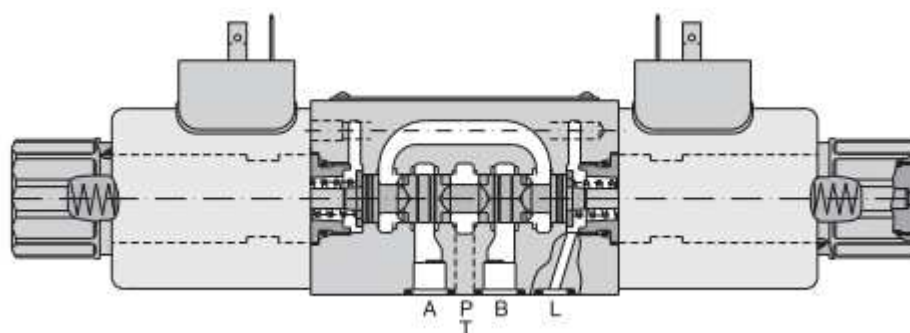
Proporcionální rozváděč provádí hrazení průtoku, ale lze nastavit polohu šoupátka, tím můžeme regulovat hydraulické odpory (regulace tlaku), průtok (řízení rychlosti a zrychlení, popř. rozběh a doběh pohonu) a poloha.

K elektrické části patří již zmíněná karta. Karta může být s analogovým výstupem, nebo pro přesnější řízení i s digitálním. Analogová karta umožňuje nastavení rampových časů.

Tyto rozváděče se používají jak v otevřených tak i v uzavřených obvodech.

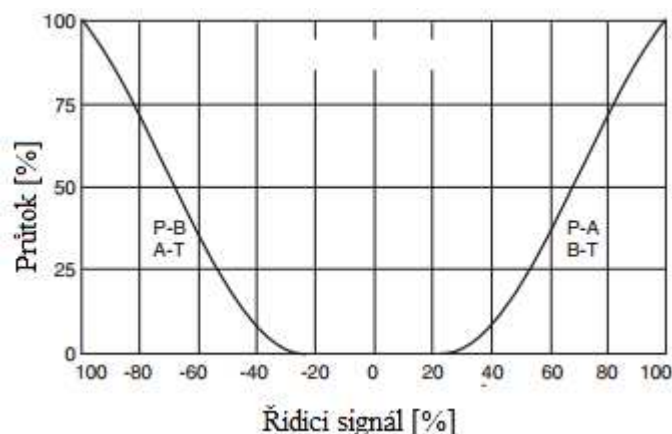
Jednostupňový přímo řízený rozváděč

Jak lze vidět na Obr. 2.2, konstrukční provedení se od konveční techniky moc neliší. Základ tvoří čtyřhranné šoupátko, které je centrováno pružinami. Na obou koncích šoupátka jsou umístěny proporcionální elektromagnety. Tvar drážek šoupátka může být trojúhelníkový, obdélníkový, odstupňovaný nebo půlkruhový. Tento tvar určuje $s - Q$ charakteristiku. Kde „s“ je poloha šoupátka. Pozitivním překrytím drážek, dosáhneme zvýšené necitlivosti kolem nulové polohy šoupátka.



Obr. 2.2 Jednostupňový proporcionální rozváděč [6]

Statická $I - Q$ charakteristika se měří při proudění kapaliny v obou směrech a při různých tlakových spádech Obr. 2.3. Tento tlakový spád je tedy součtem na obou škrticích drážkách rozváděče.

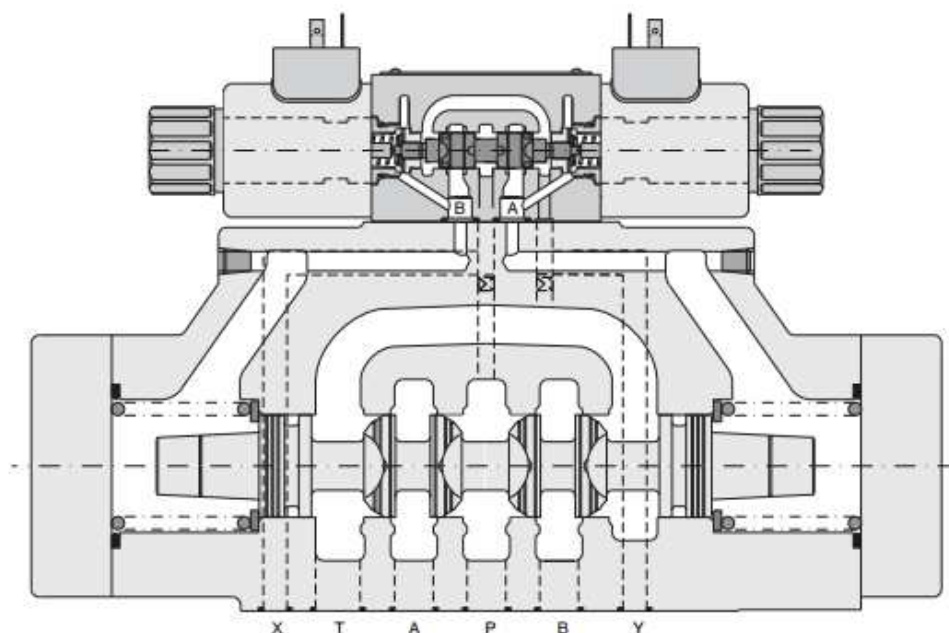


Obr. 2.3 Příklad statické I-Q charakteristiky proporcionálního jednostup. rozváděče [6]

Při opakování cyklů vzniká nepříznivý jev zvaný hystereze. Hystereze je závislost stavu na stavu předchozím. Aby tento jev neovlivňoval přesnost, používá se snímač polohy. Tím dojde ke zmenšení nepřesnosti pod 1 %. Zejména u silových magnetů, tento jev znamená velký problém. Hystereze může činit až 6 % zdvihu, díky chybě opakovatelnosti a vlivem nečistot v kapalině se chyba zvětší o další 2 – 3 % zdvihu.

Dvojstupňový nepřímý řízený rozváděč

V technické praxi se setkáváme s vyššími požadavky na velikost průtoku, realizují se jako u klasické techniky provedení dvojstupňová. Řídicí stupeň u tohoto rozváděče tvoří 2 redukční ventily, které jsou řízené proporcionálními elektromagnety. Tyto redukční ventily, určují tlak pro řízení druhého výkonového stupně. Tento druhý stupeň je tvořen pružinou a šoupátkem. Obr. 2.4.



Obr. 2.4 Dvojstupňový proporcionální rozváděč [6]

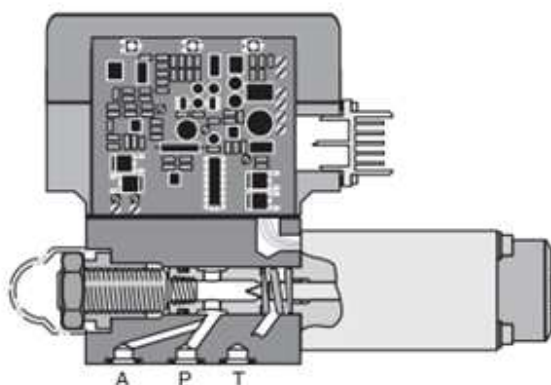
2.1.2 Proporcionální tlakové řídicí ventily

Použitá literatura [4]; [6]

Jsou to především odlehčovací a redukční ventily. Pojišťovací tlakové ventily mohou být také jedno stupňové nebo dvojstupňové. Mají široké použití pro jejich schopnost regulovat tlak úměrně k nastavenému tlaku.

Jednostupňový pojistný ventil

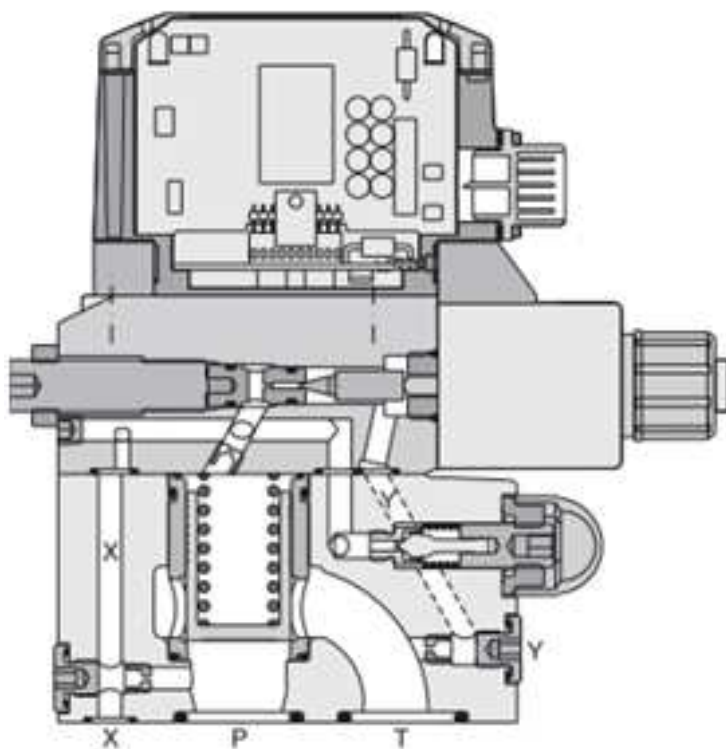
Díky snímači je snížen vliv průtoku na požadovaný pojistný tlak. Používá se pro tlaky (25, 180, 315, 350) bar. Využití nalézá hlavně pro nastavování malých tlaků. Hysterezi výrobci uvádí pod 1% a chybu opakovatelnosti uvádí pod 0,5%.



Obr. 2.5 Jednostupňový proporcionální pojistný ventil [6]

Dvojstupňový pojistný ventil

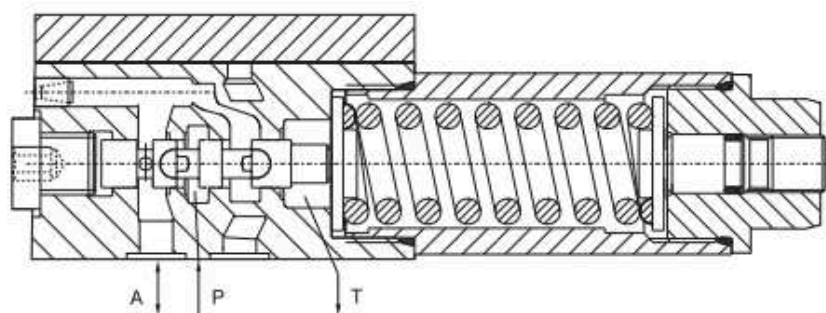
Pro větší průtoky jsou opět realizovány dvojstupňové ventily. Druhý stupeň ventilu může být také tvořen logickými ventily. Pro omezení maximálního tlaku slouží první stupeň s mechanickým nastavováním. Obr. 2.6. Bývá realizován ve 4 tlakových stupních až do 350 bar.



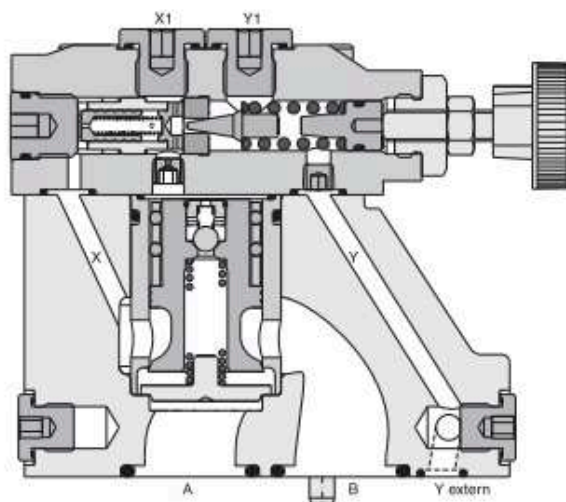
Obr. 2.6 Dvojstupňový pojistný proporcionální ventil [6]

Redukční ventil

Jejich realizace obdobná jako u pojistných tlakových ventilů. Redukční ventily jsou realizovány ve více provedeních Obr. 2.7. Umožňují variabilní nastavování redukovaného tlaku od 0 až po nominální tlak v hydraulickém obvodu.



a) Jednostp. proporcionální redukční ventil



b) Dvojstup. proporcionální redukční ventil

Obr. 2.7 Redukční proporcionální ventily [6]

2.1.1 Proporcionální průtokové ventily

Použitá literatura [4]; [6]

U těchto ventilů, je nutné zajistit, aby rychlé změny elektrického signálu, nezpůsobovaly velké tlakové rázy. To se realizuje pomocí tlakové váhy. Pokud vliv změny elektrického signálu nezpůsobují velké tlakové nárůsty, mohou se aplikovat proporcionální škrťací ventily. Škrťací ventily se využívají také pro velké průtoky. Ovšem za předpokladu, že nebude vznikat tlakový ráz na regulátor průtoku.

2.1.2 Škrťací ventily

Použitá literatura [4]; [6]

2 nebo 3- cestné, jsou vybaveny tlakovou kompenzací.

2.2 Aplikace proporcionálních ventilů

Použitá literatura [1]; [4]; [6]; [5]

Použití v uzavřených nebo otevřených obvodech, aby se získaly rychlé a přesné pohyby.

Polohové řízení

Řízení rychlostí v závislosti na poloze (dráze).

Řízení tlakové

U tohoto způsobu řízení je tlak nastaven na konst. hodnotu redukčního ventilu, např. potenciometrem, nebo může být tlak funkcí dráhy. To se realizuje pomocí elektrické zpětné vazby (snímačem polohy), kde k dráze je přiřazován v příslušném programu velikost tlaku.

Řízení kombinované

Řízení polohové v určitém okamžiku se mění v řízení tlakové a naopak. Řízení také může odpovídat jisté funkci v programu, který je zadáván do systému pomocí elektronické karty.

2.3 Řídící elektronika PV

Použitá literatura [3]; [4]

Moderní řídící elektronika má výstup na monitor, což přináší možnost bezpečné a snazší kontroly a obsluhy. Díky možnosti programovat a opakovat cykly v krátkém čase, proporcionální prvky dosahují velké využitelnosti.

Budiče pro PV bez integrované zpětné vazby

Využívají se v otevřených i uzavřených obvodech.

Budiče pro PV s integrovanou zpětnou vazbou

Porovnávají signál zpětné vazby elektromechanického převodníku se vstupním referenčním signálem (napětí nebo proud), vytvářejí tzv. „signál chyby“ a ovládají regulaci úměrně k tomuto signálu odstíněním proudu od elektromagnetu tak, aby nevznikla škoda na zařízení. Mohou být použity v uzavřeném i otevřeném obvodu.

Karty doplňkových funkcí

Doplňkovými funkcí rozumíme např. generování cyklů naprogramovaných ramp, průběhů. Jedná se o zmiňované elektronické karty.



Obr. 2.8 Elektronická karta PZD00A-40x Parker Hannifin

Převodníky a joysticky

Převodníky: Zdvihu, rychlosti, tlaku. Využívají se pro monitorování regulovaných parametrů.

Joysticky: Pro dálkové ovládání.

2.4 Snímače veličin

Použitá literatura [3]; [8]

Snímače jsou nedílnou součástí zpětné vazby.

Odporové snímače

Využívají změny odporu, neboli změnou průřezu a délky.

- Kontaktní – Používají se pro snímání mezních poloh veličin.
- Reostatové – Používají se pro snímání posunutí délek, nebo úhlového posunutí.
- Tenzometrické – Používají se pro měření tlaků, dráhy, momentů a sil.
- Teploměrné – Používají se pro měření teploty a rychlost proudění.

Kapacitní snímače

Založen na principu změny kapacity v kondenzátoru. Jejich výhodou je velká citlivost a možnost použití pro měření rychlých změn.

Indukčnostní snímače

Využívají změny indukčnosti cívky v závislosti na změně odporu. Změna odporu, se mění vlivem posunutí kotvy, resp. geometrickým uspořádáním.

Fotoelektrické snímače

Využívá poznatku fotoelektrického jevu. Principem toho jevu je dopad fotonu na povrch elektricky nevodivého tělesa, který způsobí emisi elektronu. Tím se z elektricky nevodivého tělesa stane elektricky vodivé.

Rozdělují se na 2 typy:

- Vnější fotoelektrický jev - Výše zmíněný princip.
- Vnitřní fotoelektrický jev – Zde se zabývá emisi elektronu.
Tzn. je to obrácený princip Vnějšího fotoelektrického jevu.

Piezoelektrické snímače

Využívají krystaly, které při mechanickém namáhání produkují elektrický náboj, na kterém je možno měřit napětí.

Piezorezistivní snímače

Využívá změny vodivosti, která je způsobena mechanickým působením na monokrystal.

2.5 Snímače polohy

Použitá literatura [3]; [10]

Odporové snímače spojitě

Snímače jsou konstruovány jako potenciometry. Jejich běžec je pevně spojen s měřeným objektem. Tento běžec se posouvá po odporové dráze.

Odporové snímače nespojitě

Využívá skokové změny polohy měřeného objektu. Ty se převádějí na skokové změny odporu. Jedná se především o kontaktní odporové snímače.

Indukčnostní snímače polohy

- S otevřeným magnetickým obvodem. Změna indukčnosti je prováděna posouváním jádra cívky.
- S uzavřeným magnetickým obvodem. Změna indukčnosti je prováděna změnou odporu.

Kapacitní snímače polohy

Můstková metoda – diferenční snímače.

Rezonanční metoda – vhodné pro malé změny kapacity.

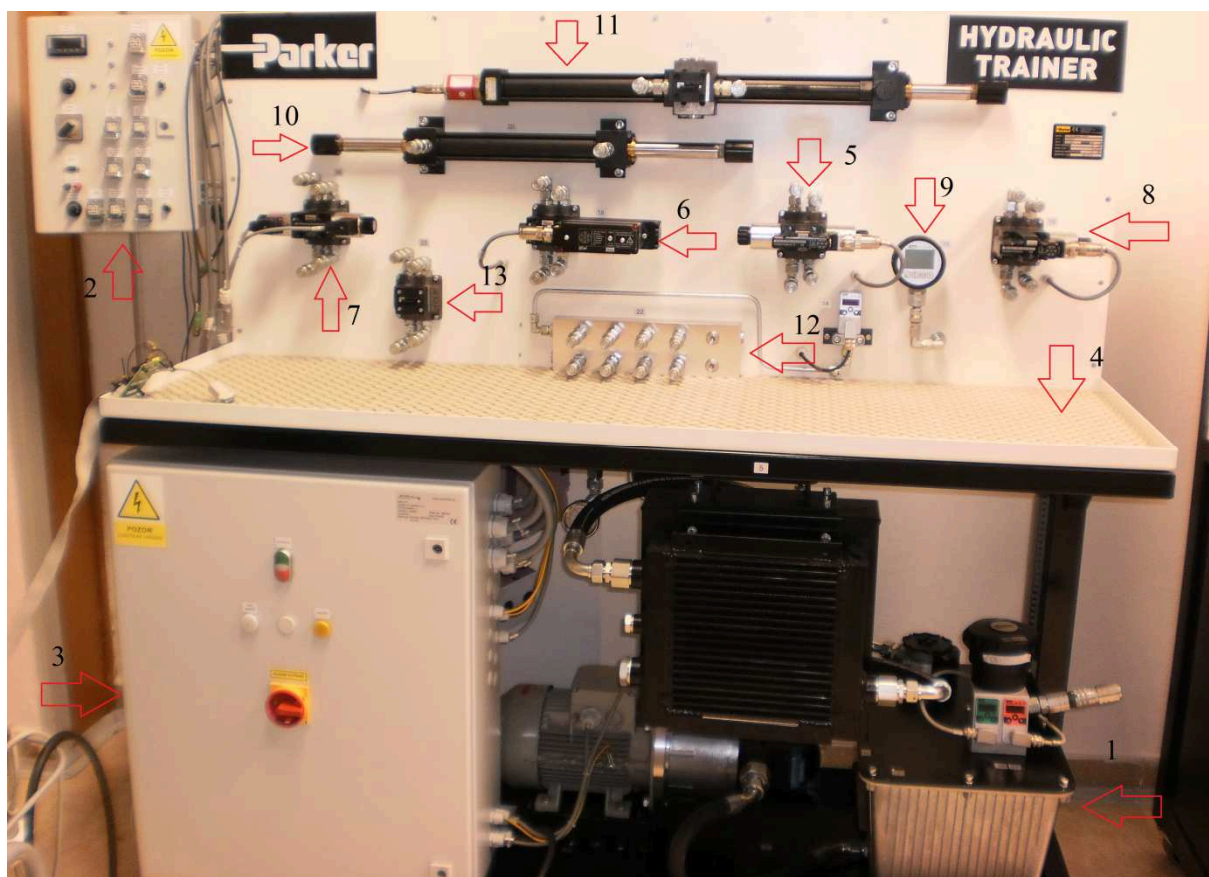
Optické snímače polohy

Ultrazvukové snímače polohy

3 Hydraulický praktikátor firmy Parker

Použitá literatura [2]

Tento stand je určen pro praktickou výuku proporcionální techniky.



Obr. 3.1 Praktikátor firmy Parker

Toto zařízení je na Obr. 3.1, skládá se z pojízdného ocelového rámu, na kterém jsou osazeny jednotlivé prvky standu. Hydraulický agregát (1), ovládací panel (2), elektrická rozvodná skříň (3), pracovní deska (4) a také hlavní panel, na kterém jsou umístěny jednotlivé rozváděče (5, 6, 7), ventil (8), monometr (9), hydraulické válce (10, 11), rozvodný hydraulický blok (12) a hydraulická deska (13).

3.1 Popis standu, seznam jeho součástí

Použitá literatura [2]

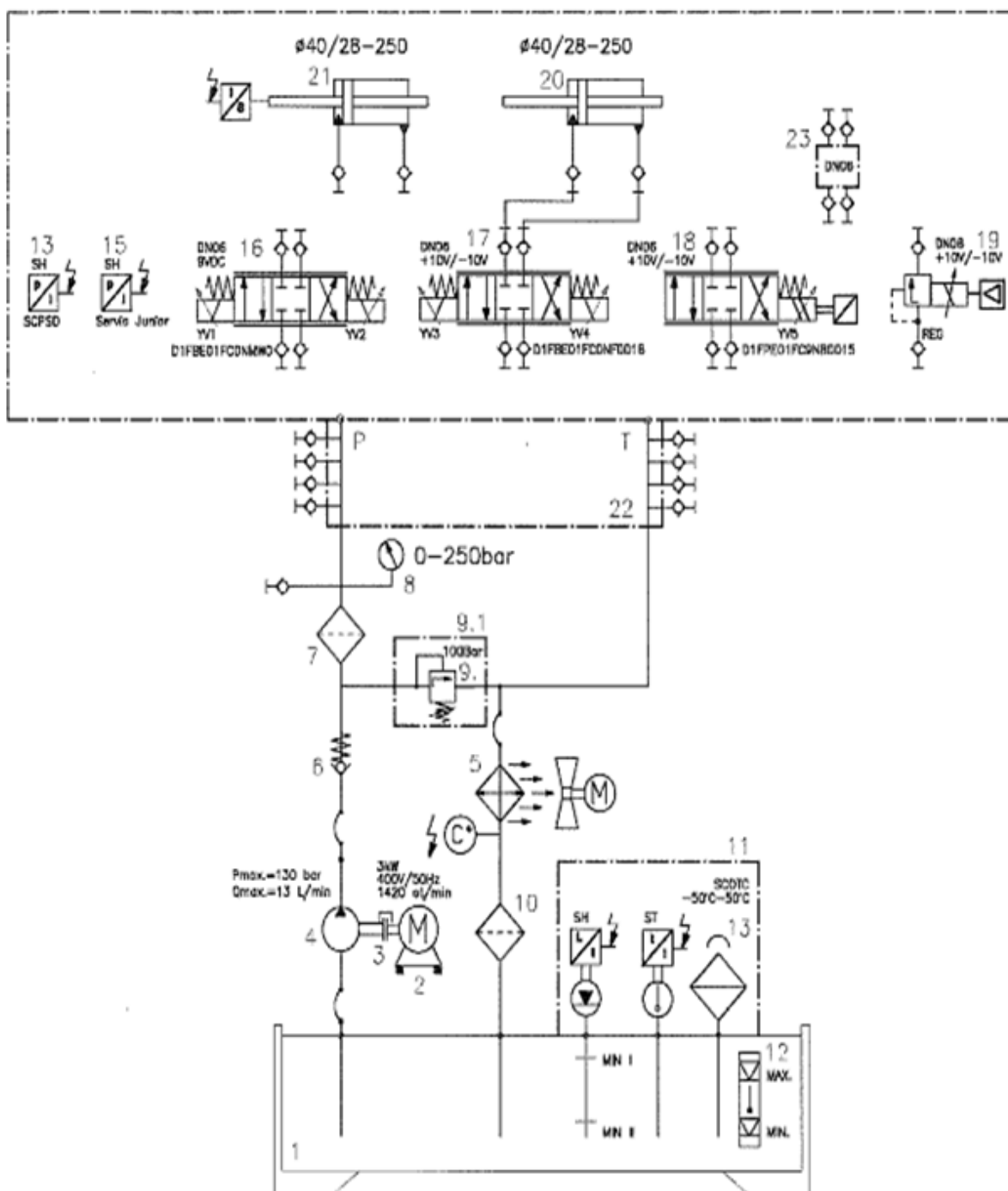
Pol.	Název	Typ	Dodavatel	Pcs.
1	Nádrž, těsnění mezi deskou a nádrží	BAL0005,DI0085	Raja	1
2	Elektromotor	1LA7107-4AA16,IMB35	Siemens	1
3	Náhon, spojka + silentbloky	RV250/148/105 + ALU A 24/32.28H7 + ALU A 24. 19H7 + ZK 24 - 92 °Shore A (Weiss), MDL100L	Raja	1
4	Pumpa	TB-003-1R00-A100	Parker	1
5	Chladič	LAC007-2-D-00-000-0-0	Olaer	1

6	Zpětný ventil	RHD15LOMDCF	Parker	1
7	Tlakový filtr	15P105QBM3KG121	Parker	1
8	Manometr	PGB0630250	Parker	1
9	Pojistný ventil	RAH081S30	Parker	1
9.1	Těleso	B08-2-6B	Parker	1
10	Zpětný filtr	TPR110QLBP2EG12E	Parker	1
11	Kombinované plnicí hrdlo	SCOTC-250-10-07	Parker	1
12	Stavoznak	FL69123	Parker	1
13	Vzduchová zátka	EAB20P020HC73V2	Parker	1
14	Tlakový spínač	SCPSD-060-04-16	Parker	1
15	Servisjunior	SCJN-100-01	Parker	1
16	Proporcionální ventil	D1FBE01FC0NMW0	Parker	1
17	Proporcionální ventil	D1FBE01FC0NF0016	Parker	1
18	Proporcionální ventil	D1FPE01FC9NB0015	Parker	1
19	Tlakový proporcionální ventil	RE06M10T2V1F026	Parker	1
20	Hydraulický válec	40KCPHMIRN24M24M250M1144	Parker	1
21	Hydraul válec se zpětnou vazbou	40KCPHMXRNS24M24M250M1144-BRTA	Parker	1
22	Rozvodný hydraulický blok	VD-3-2220.01	Parker	1
23	Rozvodná hydraulická deska	D51VP071C	Parker	1

Čísla položek jsou uvedeny na hydraulickém schématu standu.

Seznam položek podle: Parker dokumentace Proporcionální školící stand.

Hydraulické schéma trenažeru



Obr. 3.2 Hydraulické schéma standu [2]

Jak už bylo řečeno, tento stand slouží k ověření teoretických znalostí nabytých ve výuce. Na tomto standu se mohou realizovat několik různých úloh. Stand je vybaven elektronickými kartami, které jsou již přednastaveny výrobcem. V každé úloze tedy

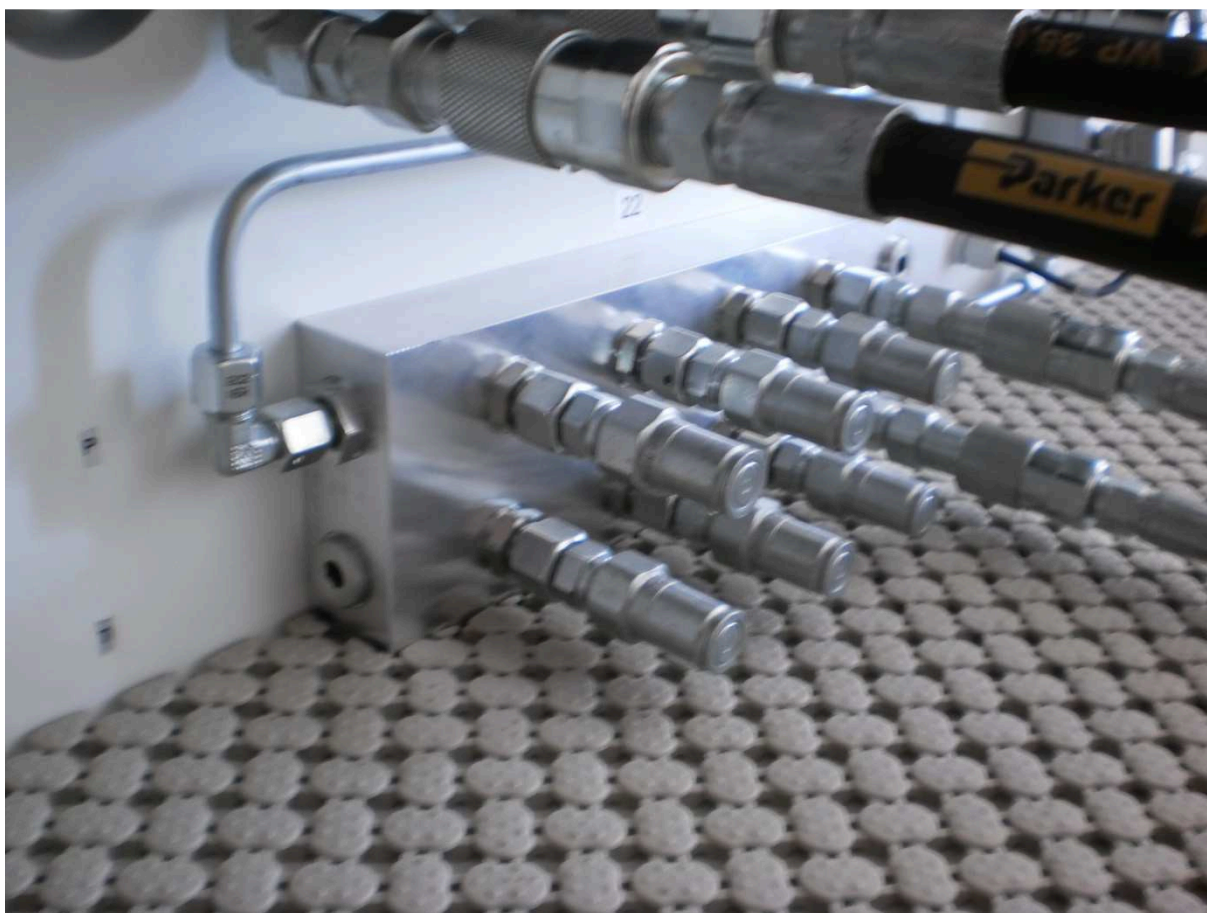
upravujeme jen příslušné parametry tak, abychom mohli vidět projevy změn. Změny rychlosti vysouvání pístu, jeho polohy apod.

Na komponentách standu je dodržováno standardní písemné označování.:

- P - zdroj tlaku
- T – nádrž
- A- pracovní větev
- B- pracovní větev

Při práci s komponenty a jejich zapojování je nutné dodržovat toto označování.

Stand je dále vybaven hadicemi, které slouží k propojení jednotlivých prvků, také jsou přiloženy spojovací T kusy.



Obr. 3.3 Rozvodný hydraulický blok

Elektrická skříň

Použitá literatura [2]

Elektrická skříň Obr. 3.4, je umístěna ve spodní části ocelového rámu. V této skříni jsou umístěny zmiňované elektronické karty, také jsou zde nezbytné pojistky. Na krytu této skříně je umístěn vypínač pro zapínání elektromotoru a dále hlavní vypínač.



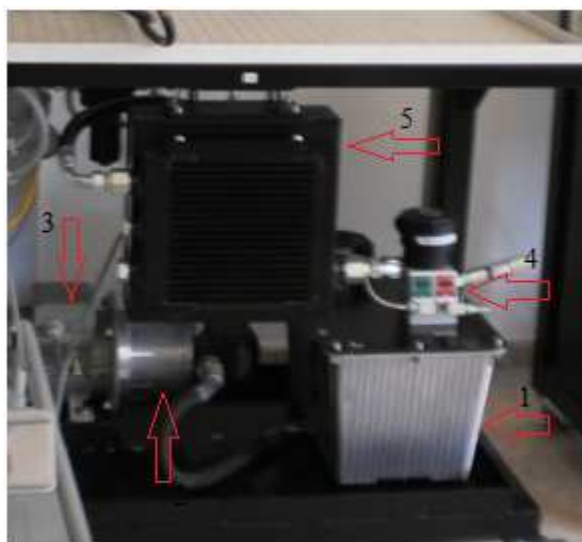
Obr. 3.4 Elektrická skříň

Hydraulický agregát

Použitá literatura [2]

Je umístěný ve spodní části standu. Obr. 3.5 Agregát se skládá z:

- nádrže o objemu $V = 20 \text{ dm}^3$ (1)
- lamelové čerpadlo $Q = 12 \text{ dm}^3/\text{min}$; $p_{\text{max}} = 12 \text{ MPa}$ (2)
- elektromotor (3)
- odpadní filtr $Q = 40 \text{ dm}^3/\text{min}$; s optickou indikací zanesení na $10 \text{ }\mu\text{m}$.
- tlakový filtr $Q = 40 \text{ dm}^3/\text{min}$; s optickou indikací zanesení na $5 \text{ }\mu\text{m}$.
- kombinovaný přístroj pro měření teploty a hladiny oleje v nádrži (4)
- chladič $Q = 40 \text{ dm}^3$ (5)



Obr. 3.5 Hydraulický agregát

Ovládací panel

Použitá literatura [2]

Je to elektronické zařízení určené k řízení a ovládání standu, je vybaven potenciometry (1), přepínáním elektronických karet (2) a konektory (3), pro připojení kabelů, které jsou připojeny na selenoidy proporcionálních ventilů. Obr. 3.6.



Obr. 3.6 Ovládací panel

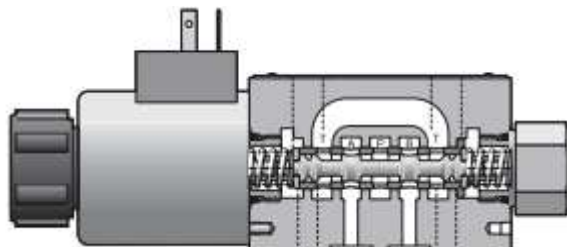
Pro realizované úlohy je důležitá přípojka RS232 (4) pro připojení počítače, na kterém se nastavují parametry řídicích karet pomocí programu ProPxD.

3.2 Komponenty na hlavním panelu standu

Použitá literatura [2]; [6]

Proporcionální rozváděč D1FBE01FC0NMW0

Přímo řízený, jednostupňový.



Obr. 3.7 Řez proporcionálním rozváděčem [6]

Typ šoupátka



Poloha šoupátka

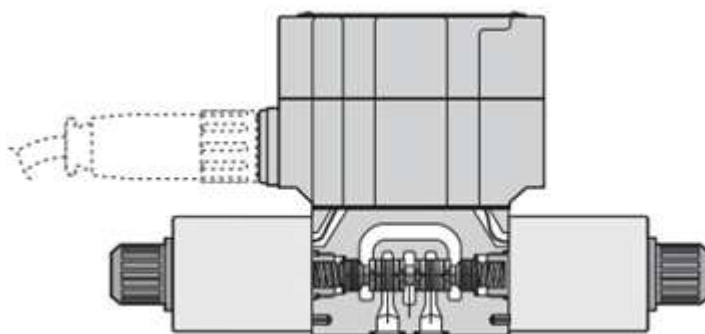


Průtok $Q = 12 \text{ l/min}$ při tlakové ztrátě $\Delta p = 5 \text{ bar}$.

Těsnění NBR.

Proporcionální rozváděč D1FBE01FC0NF0016

Přímo řízený, jednostupňový.



Obr. 3.8 Řez proporcionálním rozváděčem s integrovanou elektronikou [6]

Typ šoupátka



Poloha šoupátka



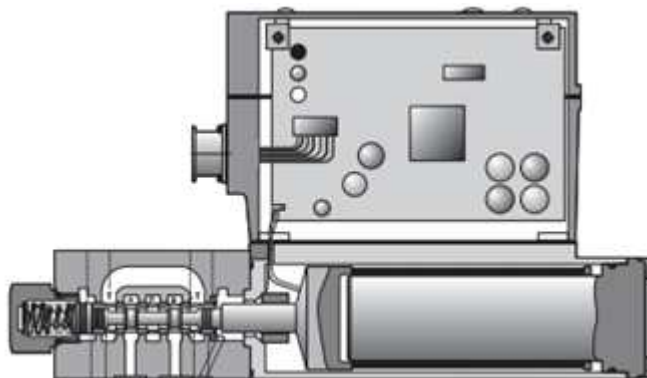
Průtok $Q = 12 \text{ l/min}$ při tlakové ztrátě $\Delta p = 5 \text{ bar}$.

Těsnění NBR.

Řídící signál selenoidu $0 \dots \pm 10 \text{ V}$ při funkci $0 \dots +10 \text{ V} > \text{P-A}$.

Proporcionální rozváděč D1FPE01FC9NB0015

Přímo řízený, jednostupňový.



Obr. 3.9 Řez proporcionálním rozváděčem s integrovanou elektronikou

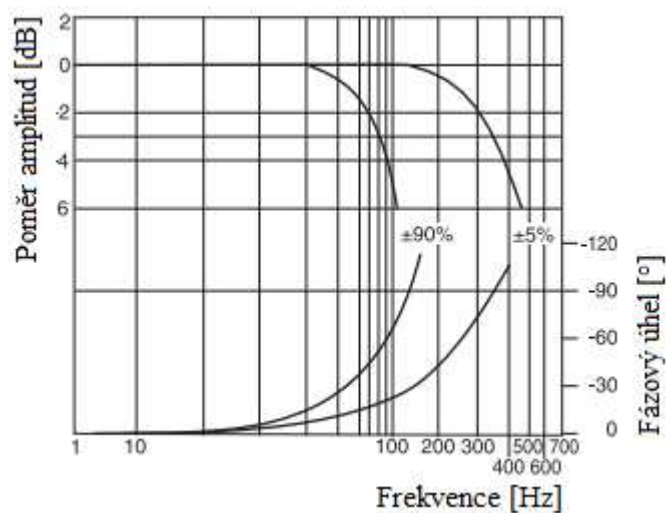
Typ šoupátka



pozitivní překrytí drážek 25%.

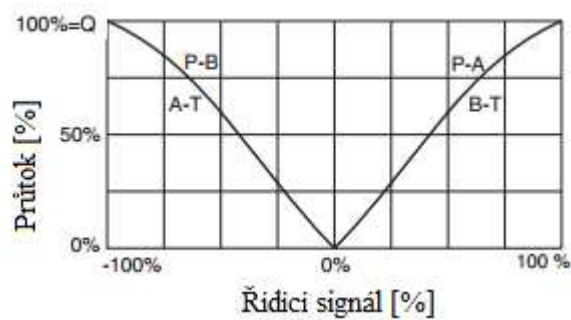
Průtok $Q = 12 \text{ l/min}$ při $\Delta p = 35 \text{ bar}$ na řídicí hraně. Jedná se o předepnutí řídicí hrany při pozitivním překrytí.

Řídící signál selenoidu $0 \dots \pm 10 \text{ V}$ při funkci $0 \dots +10 \text{ V} > \text{P-A}$.



Obr. 3.10 Frekvenční charakteristika proporcionálního rozváděče [6]

Dynamické vlastnosti ventilu jsou téměř shodné s vlastnostmi servoventilu.

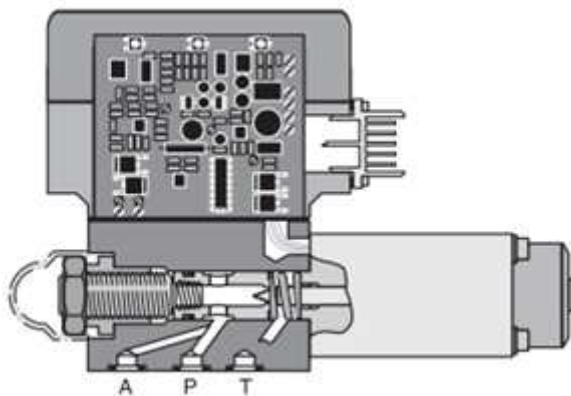


Obr. 3.11 I-Q charakteristika proporcionálního rozváděče [6]

Součástí ventilu je i integrovaná elektronika.

Proporcionální pojistný ventil RE06M10T2V1F026

Přímo řízený, jednostupňový pojistný ventil s integrovanou elektronikou.



Obr. 3.12 Řez pojistným ventilem [6]

Tlaková řada 105bar.

Těsnění FPM.

Řídicí signál selenoidu 0...+/- 10 V při funkci 0..+10 V > P-A.

Hydraulický válec 40KCPHMIRN24M24M250M1144

D=40mm; d=28mm zdvih h=250mm;. Bez zpětné vazby.

Hydraulický válec 40KCPHMXRNS24M24M250M1144-BRTA

D=40; d=28mm zdvih 250mm;. Se zpětnou vazbou.

Indukčnostní snímač polohy.



Obr. 3.13 Hydraulický válec se snímačem polohy

3.3 Seznam elektronických modulů

Použitá literatura [2]

Specifikace karet je důležitá pro prováděné úlohy. Každá z uvedených karet má jinou funkci a jejich použití závisí na charakteru prováděné úlohy. Resp. jejich specifikace nám říkají, jakým způsobem ovlivňují chování ventilů a rozvaděčů. Tyto elektronické karty se ovládají přes příslušný program ProPxD, potenciometrem popřípadě pomocí

PC a karty Humusoft. Tato karta je umístěna v PC, vytváří signál pro elektronické karty doplňkových funkcí. Signál je možno tvořit například v software Matlab.

Karta PID00A-40X

Tato elektronická jednotka slouží pro uzavřené regulační okruhy, lze provádět i s otevřenou regulační smyčkou. Tato karta porovnává vstupní žádanou veličinu s regulovanou veličinou. Pro výstup potřebujeme rozdíl těchto signálů, který podle této difference zaujímá polohu (resp. se otevírá nebo uzavírá šoupátko rozvaděče). Tato difference žádaných a regulovaných veličin se vytváří každou milisekundu.

Zkratka PID označuje regulační složky. Tyto složky se sečtou, na základě těchto složek se reguluje vstupní signál pro zesilovače nebo řídící elektroniku ventilu. Každá tato složka je definována svým parametrem.

- P – Proporcionální regulační složka. Tento parametr vytváří výstupní signál, který je úměrný k diferenci mezi zadanou a regulovanou veličinou. Pokud parametr zadáme příliš vysoký, mohou se objevit oscilace zařízení. Lze slyšet i velký hluk.
- I-Integrační složka. Tento parametr vytváří výstupní signál, který je úměrný k součtu odchylky polohy pohonu v čase. Polarita signálu se mění, cílem je snížení odchylky. Čím vyšší parametr zadáme, tím dosáhneme menší odchylky od žádané veličiny. Při nízkém nastavení parametru vznikají oscilace a vysoké nastavení je příčinou pomalého doběhu do cílové pozice pohonu. Používá se ke zmenšení odchylek stacionárního stavu.
- D- Derivační složka. Tento parametr vytváří signál, který je úměrný k rychlosti změn regulované polohy. Jednoduše řečeno, tento parametr ovlivňuje rychlost. Tato rychlost se snižuje nebo zvyšuje podle toho, jak je pohon blízko zadané poloze (veličině).

Podle znaménka tohoto parametru můžeme docílit zrychlení nebo zpomalení. Tento parametr by měl být velmi nízký, aby byl zajištěn plynulý chod pohonu. Tím zamezíme nežádoucí tlakové rázy.

Karta PZD00A-40X

Tato elektronická jednotka slouží ke zpracování regulačních signálů. Převádí námi zadané parametry do spojitého signálu pro další zpracování. Za touto kartou může být připojen zesilovač, nebo také přímo ventil s integrovanou elektronikou. Námi žádané a

zadávané parametry jsou nastavovány potenciometrem, nebo jsou vyvolány pomocí programu ProPxD.

Zadané parametry jsou výstupní a následně jsou přemodulovány pomocí karty na vstupní signály. Jednoduše řečeno, zadáváme parametry, které chceme vidět na výstupu. Modul je sám přetvoří na signál, určený pro vstup do elektroniky na ventilu nebo do zesilovače.

Karta PWD 00A-400

Tato elektronická karta je určena pro optimalizaci úkonů na proporcionálních přímo řízených regulačních ventilech.

Karta PWDXXA-40X

Tato elektronická jednotka je pro proporcionální rozváděče. Na svorkách karty je měřeno napětí +10V..0..10V. Tato napěťová informace vypovídá o poloze šoupátka rozváděče, resp. zdvih šoupátka. V tomto případě je žádaná veličina poloha šoupátka vyjádřená v procentech -100...0...+100%. Regulovanou veličinou je zmíněné napětí na svorkách karty. Monitorování toho výstupu není kalibrováno. Tato karta plní funkci dynamické změny na proporcionálních magnetech šoupátka. V praxi to znamená, že se dynamicky mění zdvih šoupátka. Tento signál o změně je porovnáván se skutečnou polohou. Na základě této difference ovládá regulátor příslušné proporcionální magnety. Je obdobou karty PWD00A-400.

4 Úlohy, které praktikátor umožňuje procvičovat

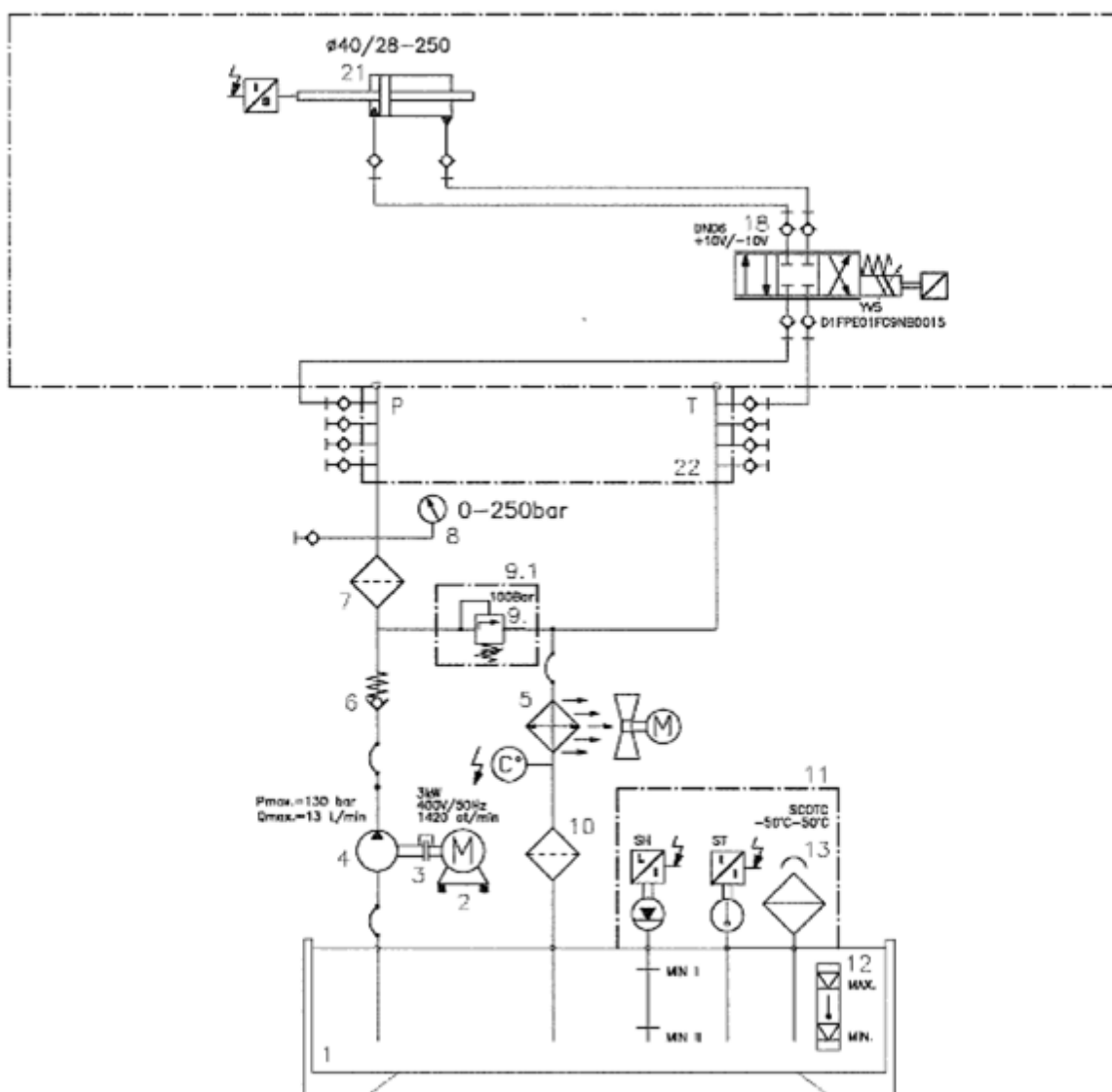
Použitá literatura [2]

Tyto úlohy byly popsány na základě znalostí funkcí elektronických karet, které stand obsahuje.

Úloha č.1

K této úloze se používá karta PZD v této kombinaci:

PID00+ventil D1FPneboD1FB...F00 ; Pro realizovanou úlohu byl zvolen D1FPE01FC9NB0015.



Obr. 4.1 Hydraulické schéma zapojení úlohy č1 [2]

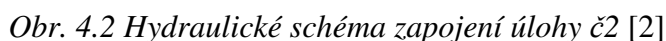
Úloha č 2.

K této úloze se používá karta PZD v této kombinaci:

PZD00 + ventil D1FP nebo D1FB ... F00 v otevřené regulační smyčce (hydraulický válec bez zpětné vazby).

K této úloze se používá karta PZD v této kombinaci:

PZD00 + ventil D1FP nebo D1FB ... F00 v otevřené regulační smyčce (hydraulický válec bez zpětné vazby).



Úloha č3

K této úloze se používá karta PWD00 v této kombinaci:

PWD00+ventil D1FB...F00.

PWD00+ventil D1FB...F00.

Obr. 4.3 Hydraulické schéma zapojení úlohy č3 [2]

5 Řízení polohy přímočarého hydromotoru, návod do měření

Použitá literatura [2]

Realizovaná úloha má pořadové číslo.1. Tato úloha je možno provést ve dvou provedeních. V uzavřené a otevřené regulační smyčce. Zde je popsán návod pro úlohu řízení polohy přímočarého hydromotoru. Je zde popsán postup zapojení hydraulických komponentů, nastavení elektroniky a softwarů.

- Zapojení hydraulického obvodu podle hydraulického schématu. Obr. 4.1.

Nejdříve spojit rozvodný hydraulický blok, který je označen číslicí 22 Obr. 3.3, s proporcionálním rozvaděčem označeného číslicí 18. Obr. 5.1. Kratší z dostupných hadic, zapojit do horní rychlospojky hydraulického rozvodného bloku a následně do pravé dolní rychlospojky na rozváděči. Tyto přípojky jsou na komponentách označeny písmen P. Další hadicí spojit dolní rychlospojku u hydraulického rozvodného bloku a levou dolní rychlospojku na rozváděči. Tyto přípojky jsou na komponentách označeny písmenem T.



Obr. 5.1 Zapojení rozváděče

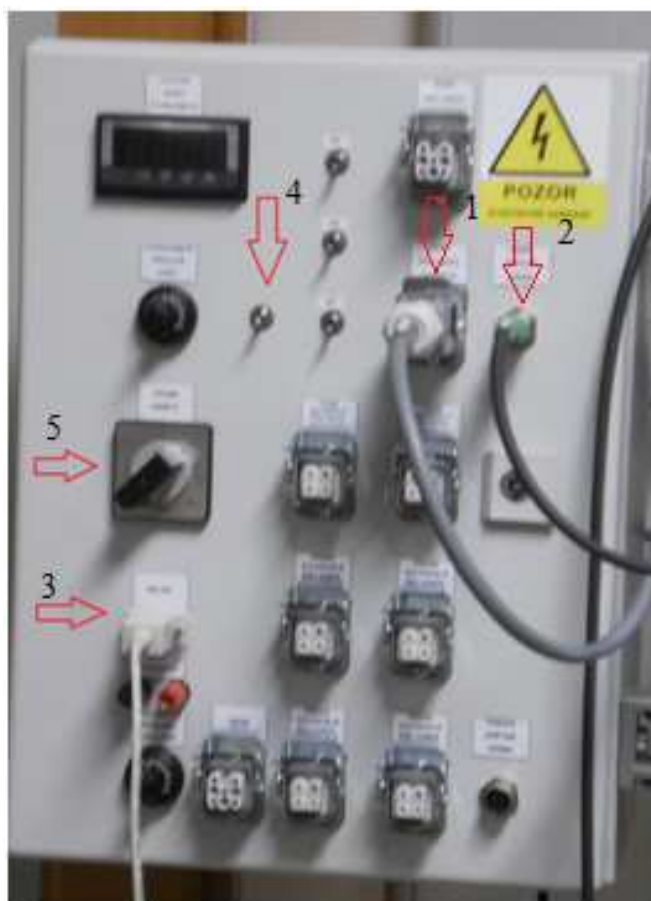
Dále spojit rozváděč s přímočarým hydromotorem, který má označení 21. Delší z dostupných hadic zapojit do levé horní rychlospojky a do levé rychlospojky na hydromotoru. Tyto přípojky jsou označeny písmenem A. Další hadicí spojit zbývající rychlospojku na rozváděči

s pravou rychlospojkou na hydromotoru. Obr. 5.2. Tyto rychlospojky jsou označeny písmenem B.



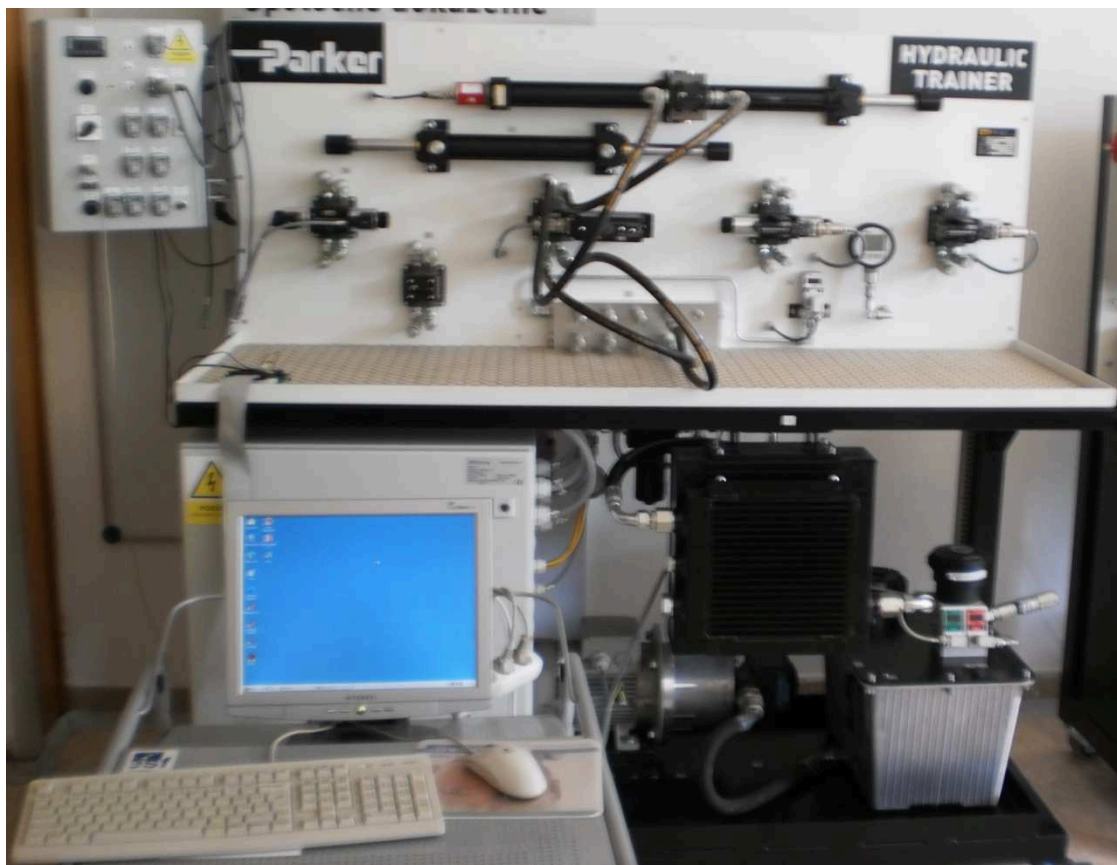
Obr. 5.2 Zapojení komponentů

- Zapnout hlavní vypínač na praktikátoru.
- Zapnout PC, který je k dispozici u praktikátoru.
- Zapojit kabel s označením D1FP do zdířky s označením PID00 na ovládacím panelu Obr. 5.3 (1).
- Konektor snímače polohy zapojit do zdířky „PID00 zpětná vazba“ na ovládacím panelu Obr. 5.3 (2).



Obr. 5.3 Spojení hydraulických komponentů a ovládacího panelu

- Propojit hlavní počítač s ovládacím panelem standu pomocí přípojky RS232 na ovládacím panelu Obr. 5.3 (3).
- Přepnutí ovládání z potenciometru na PC. Přepínač uvedeme do spodní polohy. Obr. 5.3 (4).
- Přepínač karet na ovládacím panelu přepnout do polohy PID. Obr. 5.3 (5).

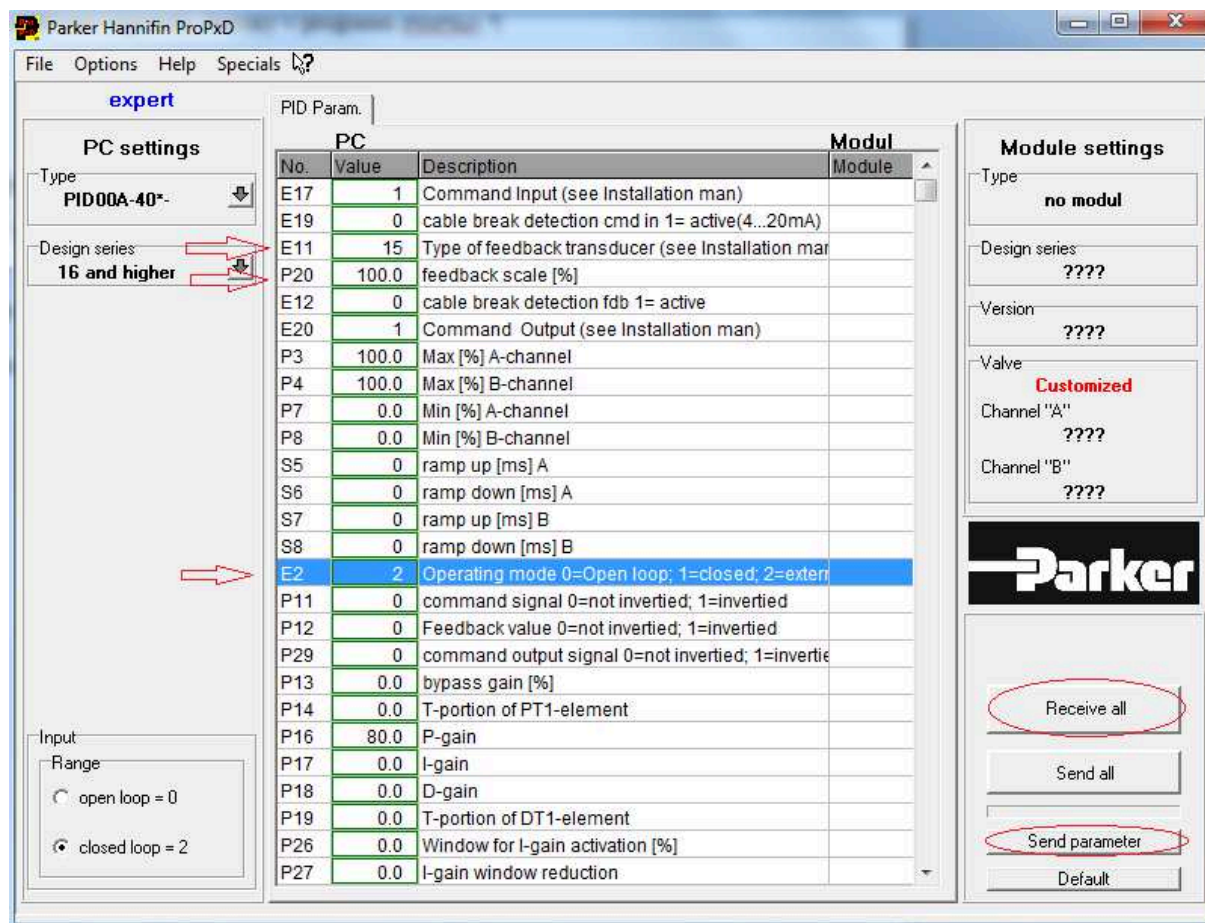


Obr. 5.4 Připravený praktikátor pro realizovanou úlohu

- Nyní se provede zapnutí programu ProPxD a následně program Matlab, pouhým dvojklikem myši na jejich ikonu na ploše.

Program ProPxD je software firmy Parker pro proporcionální techniku. Software Matlab je matematický nástroj, kterým se definují skoky, rampy, průběhy rychlostí v čase polohy apod.

Určení uzavřené regulační smyčky v programu ProPxD. Obr. 5.5.



Obr. 5.5 ProPxD uzavřená regulační smyčka [11]

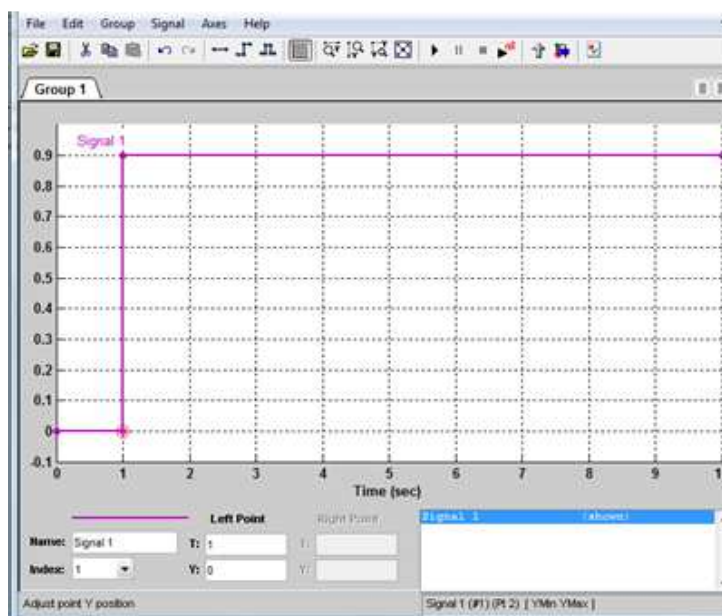
Nejdříve načíst hodnoty z elektronické karty. Stisknout tlačítko „Receive all“. Při jednotlivém zadávání parametrů stisknout „send parameter“. E11 =15 ; E20 = 1; E2=2. Díky těmto parametrům je nadefinována PID regulace se zpětnou vazbou.

➤ Nastavení parametrů PID parametrů. Obr. 5.6.

Při každém zapsání parametru je nutné stiknout „Update list“ a dále „send parameter“. P16=50 ; P17=50 ; P18=0 ; Tyto parametry jsou volitelné. Jejich změnou se projevuje PID regulace. Uvedené hodnoty jsou pouze pro orientaci. Maxima i minima daných hodnot se zobrazují v levém panelu softwaru ProPxD (Upper limit, Lower limit)

- Nastavení času. Do kolonky „Simulation stop time“ vložit hodnotu 5s.
- Nastavení kroku. Krok určuje časovou frekvenci zapisování dat. Pro toto měření bude dostačující 0,01s. Jeho nastavení se provádí v bloku „workspace“.
- Nastavení zdvihu hydraulického válce. Dvojklikem na blok „Gain“ Zdvih činní 250mm. Dosazovat v mm. Po dosazení je nutné Aplikovat změnu tlačítkem „Apply“.
- Tvorba signálu v Matlabu. Obr. 5.8.

Signál je tvořen blokem „Signal Builder“ Signál se tvoří jednoduše, pomocí souřadnicového systému. Kliknutím na požadovaný bod se zobrazí jeho souřadnice. T = hodnota času Y = poloha pístnice. Pro skokovou funkci jsou tyto hodnoty $T=1$; $Y=0$ a $T=1$; $Y=0.9$. Je nutné místo desetinné čárky doplňovat tečku. Hodnota $Y=0.9$ znamená 90% vysunutí pístnice.



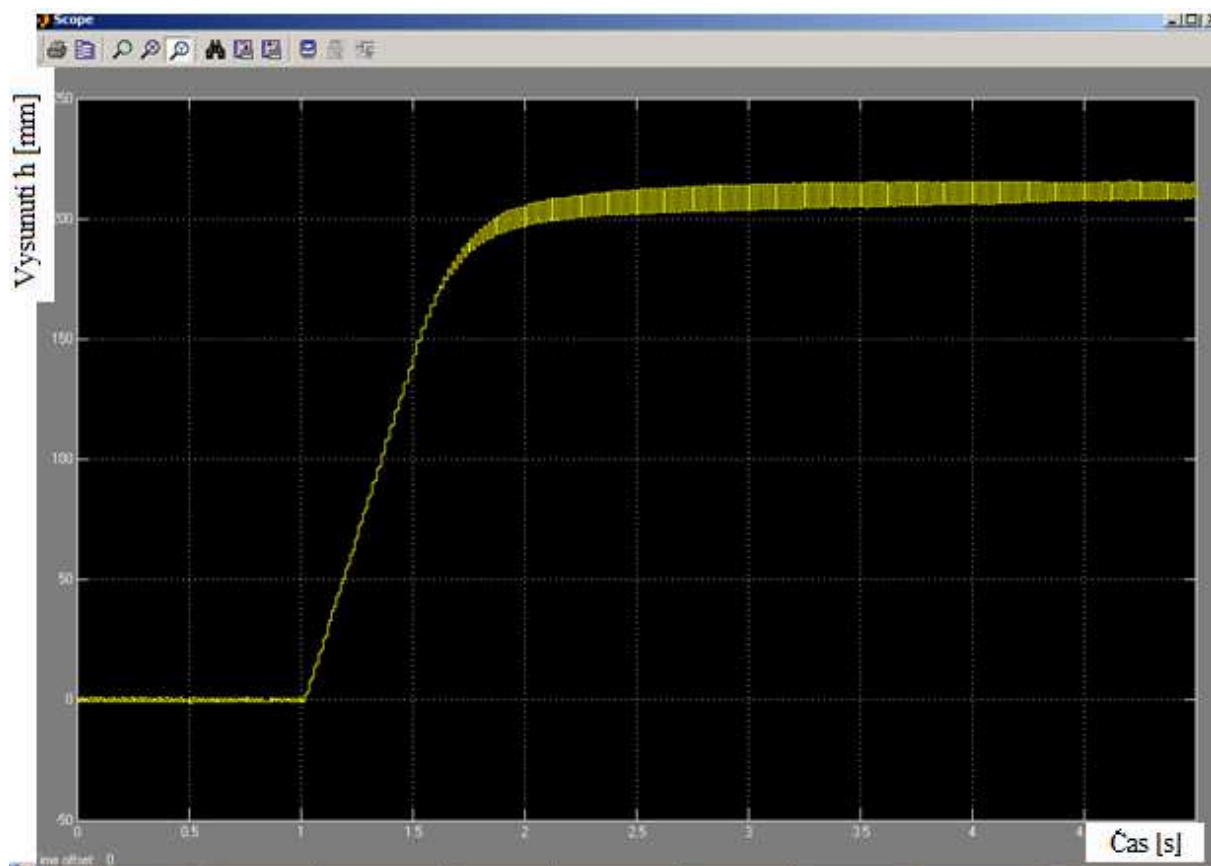
Obr. 5.8 Tvorba signálu v Matlabu [12]

Po tomto kroku bude pravděpodobně nutné spojit blok s vytvořeným signálem s blokem „Manual switch“. To se provádí pouhým držením levého tlačítka a tažením myši od bloku k bloku.

- Uvedení pístnice do 0 polohy.

Blokem „Manual switch“ přepnout dvojklikem obvod k bloku „Constant“. Poté zapnout hydrogenerátor. Provádí se vypínačem na elektronické skříni. Před tímto krokem je nutné nechat zkontrolovat obvod vyučujícím. Tlačítkem „Start simulation“ se pístnice uvede do výchozí 0 polohy.

- Blokem „Manual switch“ znovu přepnout do obvodu vytvořený signál.
- Po tomto kroku je zařízení připraveno k měření. Znovu stisknout „Start simulation“.
- Získaná data překopírujeme z matlabu do excelu a vytvoříme grafy.
- Grafická analýza v matlabu. Blokem „Scope“ lze zobrazit grafický průběh polohy v závislosti na čase. Obr. 5.9.

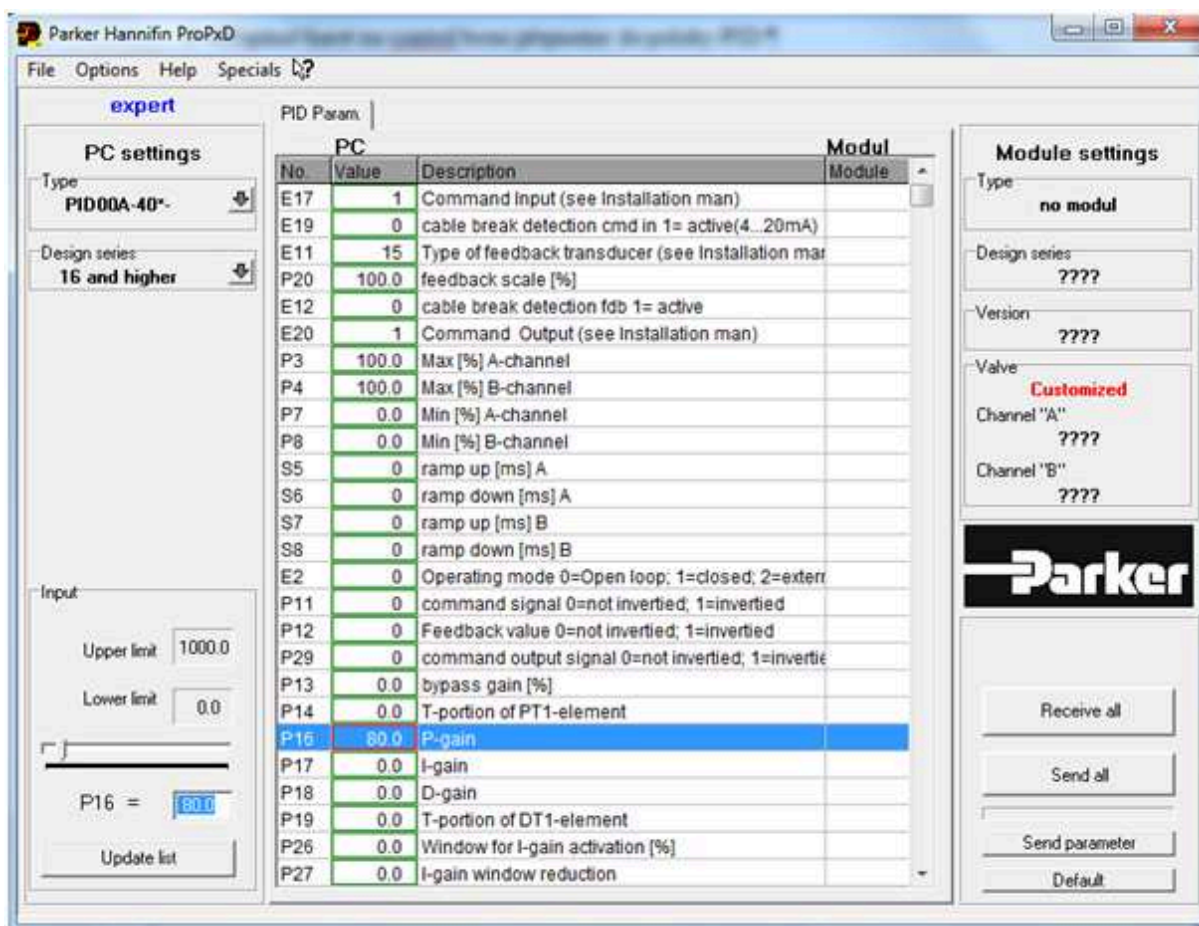


Obr. 5.9 Příklad grafické analýzy v Matlabu [12]

- Uvést pístnici do 0 polohy. Viz výše.
- V softwaru ProPxD zadat další hodnoty PID parametrů např $P_{16}=50$; $P_{17}=50$; $P_{18}=0$. Obr. 5.6.
- Opakovat měření 3x s různými hodnotami tak, aby byly viditelné projevy změn PID regulace. Po každém měření je nutné zkopírovat naměřená data do excelu a uvést pístnici do 0 polohy. Tyto kroky viz. výše.

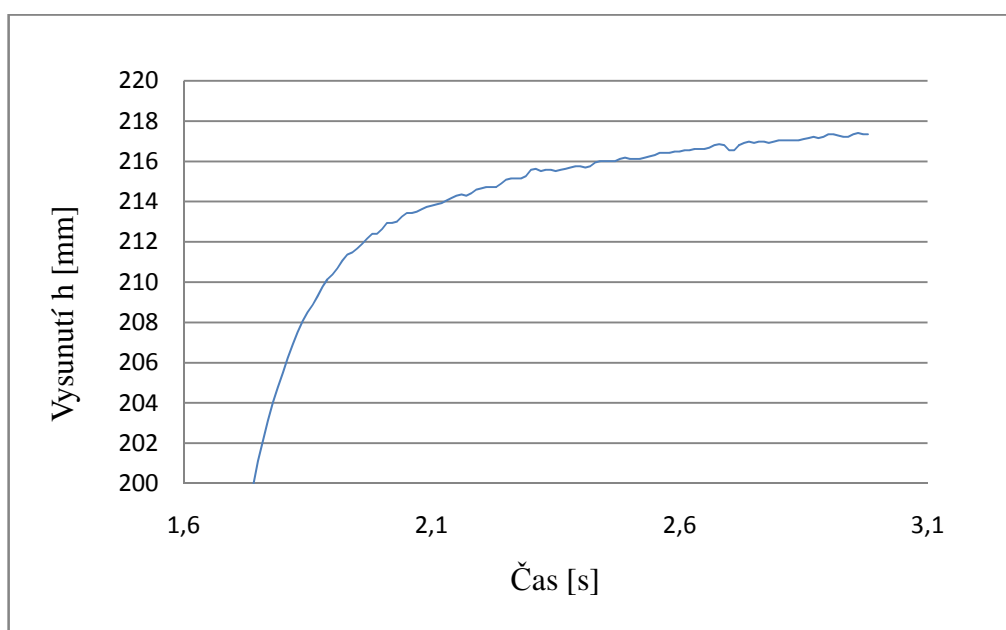
Otevřená regulační smyčka

Postup se od předešlého liší pouze v nastavení softwaru ProPxD. Definováním parametru E2=0; dále se v tomto měření určuje pouze pootevření šoupátka v %. To se provádí parametrem P16. Obr. 5.10.



Obr. 5.10 ProPxD otevřená regulační smyčka [11]

Naměřené hodnoty realizované úlohy

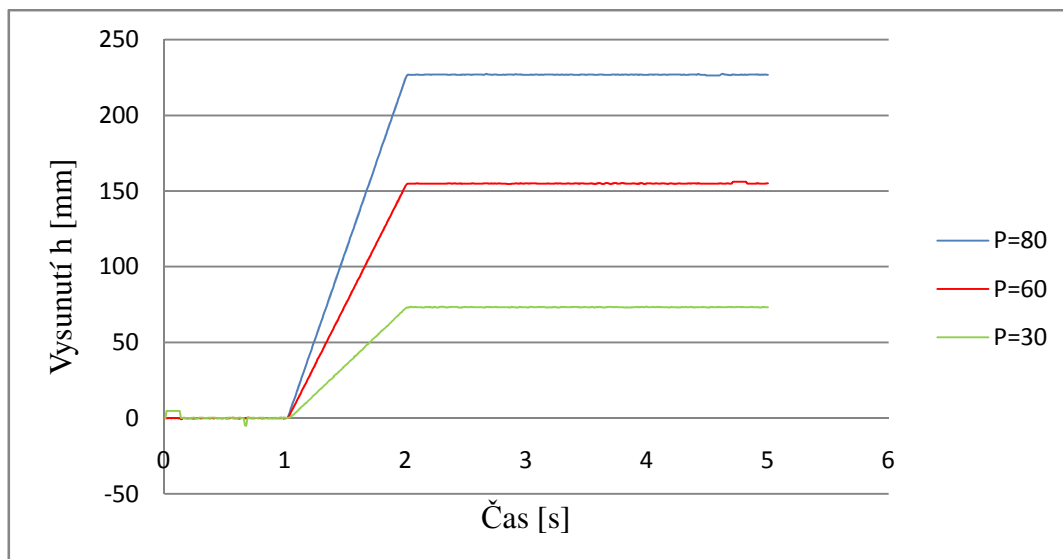


Obr. 5.11 Graf doběhu pístnice do žádané polohy

Při měření polohy se definují parametry proporcionální, integrační a derivační složky. Na Obr. 5.11 je znázorněný doběh pístnice do žádané polohy. Znázorněný průběh je pro hodnoty $P=50$; $I=10$; $D=10$. Indukčnostní snímač zaznamenává polohu v určité frekvenci, to se v grafu projevilo kmity. Tyto kmity jsou viditelné pouze v grafu, ve skutečnosti pístnice takto neoscilovala. Průběhy vysouvání jsou uvedeny příloze. A.1 a A.2.

Otevřená regulační smyčka

Při tomto způsobu měření byl definován pouze parametr P . Při každém definovaném parametru, se píst vysunul na jinou hodnotu. Z grafu na Obr. 5.12 průběhu je také viditelné, že docházelo k prudkému zastavení pístnice, tím však může docházet k tlakovým rázům.



Obr. 5.12 Graf průběhů vysouvání pístnice v otevřené regulační smyčce

6 Závěr

V rámci této bakalářské práce byl popsán hydraulický praktikátor firmy Parker. V kapitole 3 je popsáno zařízení, určené pro proporcionální techniku. Nedílnou součástí tohoto popisu, je také specifikace jednotlivých komponentů, které jsou umístěny na hlavním panelu praktikátoru. Pro práci s tímto zařízením jsou k dispozici 3 proporcionální rozvaděče, 2 přímočaré hydromotory, z toho jeden se zpětnou vazbou, proporcionální tlakový ventil, hydraulický agregát a ovládací panel. V elektronické skříni praktikátoru jsou elektronické karty od firmy Parker Hannifin. Tyto karty, jsou důležitou součástí pro realizovatelné úlohy. Popsání funkcí elektronických karet, které jsou k dispozici na praktikátoru, je v kapitole 3.2. Tyto karty jsou nedílnou součástí vybraných proporcionálních prvků. Jedná se o 4 elektronické moduly.

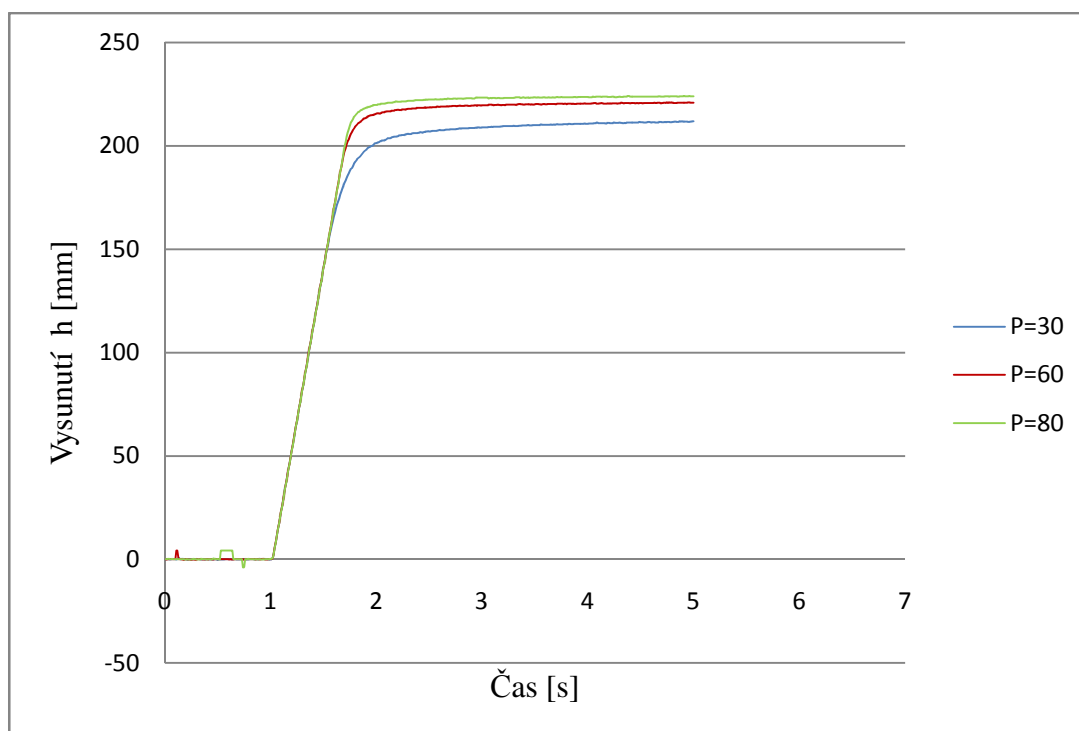
Dalším bodem bakalářské práce bylo popsání úloh, které je možno na praktikátoru firmy Parker realizovat. Tyto úlohy jsou popsány v kapitole 3 a to na základě znalostí jednotlivých funkcí elektronických karet.

Byla realizována úloha řízení polohy přímočarého hydromotoru v uzavřené regulační smyčce. Poloha byla snímána indukčnostním snímačem polohy integrovaným v hydromotoru. Realizovaná úloha na praktikátoru, byla zaměřená na regulaci pomocí PID regulátoru. K této úloze se využila karta s označením Karta PID00A-40X. Měřená poloha vstupuje na řídicí kartu jako zpětná vazba. Pro tuto úlohu je zapotřebí program ProPxD, od společnosti Parker Hannifin. V tomto programu byly nastaveny regulační parametry karty. Tento software, je určen pro proporcionální ventily a elektronické moduly od firmy Parker Hannifin. Řídicí signál je realizován pomocí vstupní karty Humusoft a programu Matlab. Dále byla realizována úloha řízení rychlosti pohybu pístnice změnou otevření proporcionálního rozvaděče.

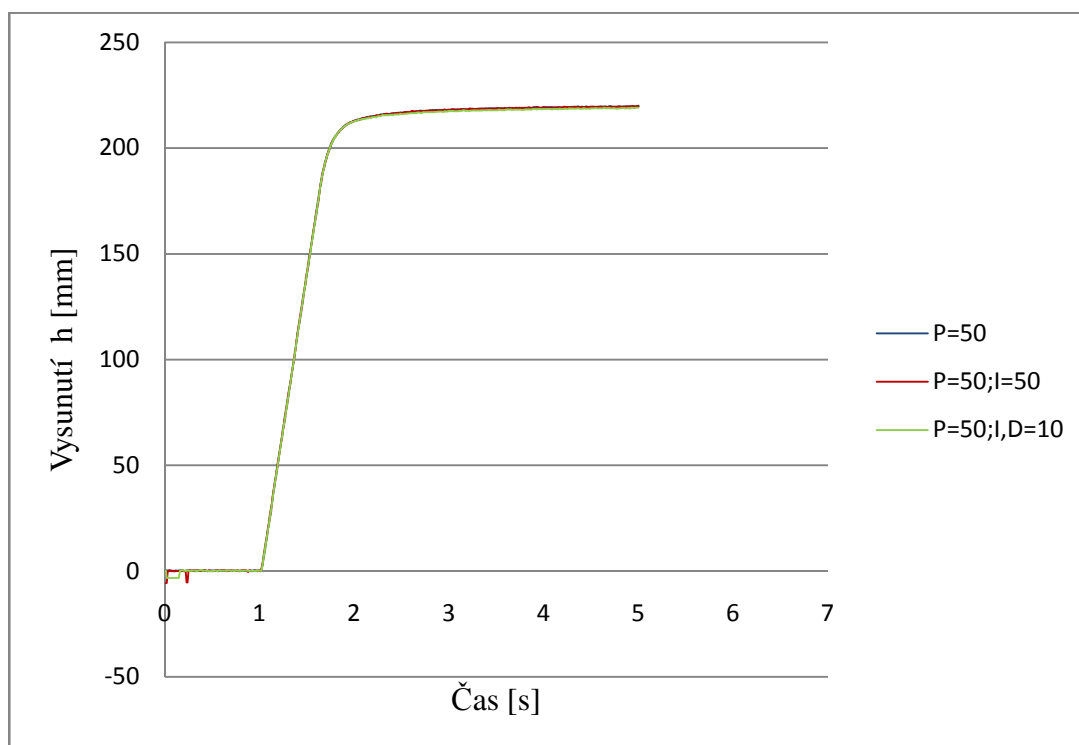
Dalším nezbytným bodem pro splnění podmínek zadání bakalářské práce, bylo vytvořit postup realizace úlohy. K tomuto účelu slouží kapitola 4. V této kapitole je popsáno zapojení hydraulického, obvodu pomocí hadic s rychlospojkami, a měření krok po kroku i s obrázky, včetně nastavení jednotlivých parametrů v software ProPxD a Matlab. Dále kapitola 3, kde je stručně popsán praktikátor firmy Parker pro proporcionální techniku, s kterým je nutno seznámit se před vlastní realizací úlohy.

V příloze na digitálním nosiči jsou tyto kapitoly samostatně odděleny, aby mohli sloužit výhradně k tomuto účelu.

7 Přílohy



A.1 Graf vysouvání pístnice s 0. integrační a derivační složkou



A.2 Graf průběhů vysouvání pístnice s PID regulací

8 Seznam použité literatury

- [1] B. PAVLOK, L. HRUŽÍK, M. BOVA; *Hydraulická zařízení strojů* VŠB TU Ostrava 2007; 116s. CZ.04.103/3.2.15.3/0414
- [2] PARKER HANNIFIN CORPORATION; *Proporcionální technika- manuál ke školícímu standu Parker*. Bulletin 01-CZ.2010
- [3] J. KOPÁČEK, *Technická diagnostika hydraulických mechanismů* VŠB TU Ostrava 1996, 161s.
- [4] DÖRR, H., EWALD, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 2, Proportional – und Servoventil – Technik*. Mannesmann Rexroth GmbH Lohr am Main, 1986. ISBN 3-8023-0898-0
- [5] WILL, D.; GEBHARTD, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltugen*. Berlin, Heideblerg; New York Springer, 2008, 4 vyd 450s ISBN 978-3-540-79534-6
- [6] KATALOG PARKER HANNIFIN CORPORATION, GMBH AND CO. KG;; *Proporcionální ventily; Tlakové ventily*, Katalog Bulletin HY11-3500/CZ; Hydraulic Control Division Kaarst, Německo <http://www.seall.cz/hydraulicke-prvky>
- [7] CERHA, J. *Hydraulické a pneumatické mechanismy I.*, TU v Liberec, 2006. 317s. IBSN 80-7372-067-1
- [8] B. PAVLOK, *Hydraulické prvky a systémy. Díl 1;* VŠB TU Ostrava, 199. 158s. IBSN 80-7078-620-5
- [9] B.PAVLOK, *Hydraulické prvky a systémy Díl 2, Řídící prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů.* VŠB TU Ostrava, 2008. 140s. ISBN 978-80-248-1827-6
- [10] T. CCHLUP; *Moderní snímače polohy*, Bakalářská práce; Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, Brno 2008
- [11] PARKER HANNIFIN CORPORATION, Communication Software *ProPxD* Software for Digital Valve Electronics ; <http://www.parker.com>

[12] MATLAB ANF SIMULINK, Software *Matlab R2010a* Copyright 1984-2010;
<http://www.mathworks.com>